

*На правах рукописи*

**СИБЕЛЕВ Олег Станиславович**

**ПОЗДНЕСВЕКОФЕННСКИЙ (PR<sub>1</sub>) ЭТАП  
МЕТАМОРФИЗМА  
(ЮЗ часть Кольского полуострова и Северная Карелия)**

**Специальность 04. 00. 08 -  
петрология и вулканология**

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук**

**Москва  
1998**

**Работа выполнена в Институте геологии**

**Карельского Научного Центра РАН**

**Научный руководитель:** доктор геолого-минералогических наук,  
профессор Граменицкий Е.Н.

**Официальные оппоненты:** доктор геолого-минералогических  
наук

**Минц М.В. (ГИН РАН)**

кандидат геолого-минералогических  
наук

**Геря Т.В. (ИЭМ РАН)**

**Ведущая организация:** Институт Литосферы РАН

Защита диссертации состоится 18 декабря 1998 г. в 14.30 часов в ауд. 608 на заседании Диссертационного Совета К. 053. 05. 08 по петрологии, геохимии и геохимическим методам поисков месторождений полезных ископаемых геологического факультета Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова. Адрес: 119899, Москва, Воробьевы горы, МГУ, геологический факультет.

*С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке геологического факультета МГУ, зона "А" 6 этаж.*

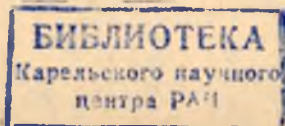
Автореферат разослан \_\_\_\_\_ 1998 года

Ученый секретарь диссертационного совета

ст. научный сотрудник

*Батанова*

Батанова А.М.



## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований. Эволюция и режимы эндогенных и, в частности, метаморфических процессов в зонах сочленения подвижных поясов со стабильными участками земной коры - одна из актуальных проблем современной геологии. В Беломорском подвижном поясе (БПП), сложенном преимущественно полиметаморфическими мигматизированными и сложнодеформированными гнейсовыми толщами, формировавшимися в ходе нескольких тектоно-магматических и тектоно-метаморфических циклов на протяжении более миллиарда лет ( $AR_2 - PR_1$ ), а также в пограничных областях окраины Карельского архейского кратона (АК), испытавших сильнейшее влияние этих процессов, изучение метаморфизма - один из главных и необходимых аспектов любых комплексных исследований.

С раннепротерозойскими этапами метаморфизма в БПП и его обрамлении пространственно и генетически связано формирование пегматитов мусковитовой и мусковит-редкометалльной формаций - источников полевошпатового сырья и мусковита. Эпигенетическим метаморфогенным процессам этого возраста принадлежит значительная роль и в формировании благороднометалльного оруденения, что подчеркивает актуальность настоящих исследований.

Цель и задачи работы. Главной целью диссертационной работы является характеристика позднесвекофеннского метаморфизма и выявление критериев для его выделения в породах Беломорского подвижного пояса и в лопийских ( $AR_2$ ) супракрустах зеленокаменных поясов прилегающей части Карельского кратона.

Основные задачи исследования заключаются в следующем:

1. Восстановление последовательности главных геологических событий региона.
2. Классификации пород и выяснения их первичной природы.
3. Изучение минеральных и структурных преобразований пород в процессе эволюции метаморфизма.
4. Изучение метаморфической зональности позднесвекофеннского этапа и контролирующих метаморфические процессы структур.
5. Определение параметров метаморфизма в раннем протерозое.
6. Изучение минерагенической специфики раннепротерозойских метаморфических процессов.

### Основные защищаемые положения:

1. В северо-западной (Енской) части БПП, сложенной преимущественно архейскими глубокометаморфизованными гнейсовыми толщами, выделен самостоятельный поздне Svecofennian этап регионального метаморфизма, не имеющий широкого развития в центральном Беломорье и характеризующийся пространственной метаморфической зональностью, фиксируемой последовательным появлением индекс-минералов (Хл<sup>1</sup>, Корд, Ст, Силл) с реакционными структурами замещения.

2. Процессы минеральных преобразований поздне Svecofennian этапа протекали в условиях от высокотемпературной амфиболитовой до зеленосланцевой фаций низких и умеренных давлений, что отвечает непрерывному эволюционному P-T тренду декомпрессии с прогрессивной и регрессивной стадиями. Метаморфизм сопровождался аллохимическими преобразованиями субстрата при повышенной активности калия.

3. Поздне Svecofennian этап метаморфизма преимущественно проявлен в зоне сочленения Карельского архейского кратона с Беломорским подвижным поясом. В Северо-Карельской структуре метаморфические изменения накладываются на лопийские (AR<sub>2</sub>) и карельские (PR<sub>1</sub>) образования и пространственно контролируются сдвиговыми зонами. Последние оцениваются как перспективные на золотометалльное оруденение. Датировка поздне Svecofennian метаморфизма основана на положении о пространственной и генетической связи с ним пегматитов мусковит-редкометалльной формации с возрастом 1,75 - 1,85 млрд. лет.

Научная новизна. Предложена схема последовательности главных тектоно-метаморфических и магматических событий БПП и прилегающей области Карельского АК на фоне меняющейся геодинамической обстановки региона. Выявлена эволюция полиметаморфических преобразований глиноземистых гнейсов, основанная на закономерной смене их парагенезисов, изменении химического состава и состава породообразующих железомagneзиальных минералов. Впервые выделены и закартированы

---

<sup>1</sup> Сокращения: Ан - анортит, Гр - гранат, Би - биотит, Ди - дистен, Кв-кварц, Корд - кордиерит, Мг - магнетит, Му - мусковит, Пл - плагиоклаз, Ст-ставролит, Силл - силлиманит, Хл - хлорит, f - железистость =  $Fe^{2+} / (Fe^{2+} + Mg)$ , ОП - осевые плоскости складок



метаморфические зоны поздне Svecofennian (PR<sub>1</sub>) регионального этапа метаморфизма, завершающего тектоно-метаморфическую эволюцию в северо-западном Беломорье. Определены термодинамические параметры метаморфизма этого этапа, достигающие условий амфиболитовой фации низких и умеренных давлений. В районе г.Рябоваара Северо-Карельской структуры выявлена и впервые в пределах восточной части Карельского кратона, детально закартирована сдвиговая деформационная зона, контролирующая процессы метаморфизма, пегматито- и рудообразования поздне Svecofennian этапа.

Практическая ценность. Результаты исследований более полно, чем раньше расшифровывают геологическое строение и эволюцию сложнослоистых раннекембрийских полиметаморфических комплексов восточной части Балтийского щита. Новые знания об областях развития поздне Svecofennian тектоно-метаморфических процессов (ТМЦ) важны при поисках мусковит-редкометалльных пегматитов. Структуры типа изученной сдвиговой зоны рекомендуется картировать при проведении поисков на золото. Геологическая карта и модель этой зоны предлагаются в качестве методического образца подобных работ.

Реализация работы. Часть результатов исследований вошла в отчет по плановой теме "Svecofennian эпоха эволюции Беломорья" и отчет по хозяйственной теме "Изучение факторов контроля и разработка поисковых критериев благороднометалльного оруденения в пределах Тикшеозерской структуры", который вместе с авторской геологической картой участка Рябоваара (м-б: 1:5000) передан Северной ПРЭ (п. Чупа) и был использован при организации поисковых работ на Аи.

Фактический материал. В основу диссертации положен материал, собранный в ходе полевых и лабораторных исследований 1991-1998 гг., которые проводились на основе данных геологического картирования метаморфической зональности в Енском районе, детального картирования сдвиговой структурно-деформационной зоны района г. Рябоваара, отдельных маршрутов, описания керна скважин и реферативного материала по Чупино-Лоухскому району. При обработке собранных материалов были применены методики парагенетического и структурного анализов. Использовано более 2000 прозрачных шлифов и 17 аншлифов. Исследование петрохимических особенностей пород производилось на основе имеющихся в нашем распоряжении 183 оригинальных химических анализов пород, 67 -

мономинеральных фракций, 311 микронзондовых определений состава минералов. Основной объем аналитических работ, за исключением микронзондовых исследований, выполнен в лабораториях Института геологии Карельского НЦ РАН. Микронзондовые исследования минералов проводились в лаборатории физических методов исследования пород и руд минералов ГИ Кольского НЦ РАН на микроанализаторе М-46 "Сатеса" и на кафедре петрографии МГУ, на сканирующем электронном микроскопе CamScan 4DV с приставкой для энергодисперсионного анализа AN 10 000.

Апробация работы. Отдельные положения диссертационной работы докладывались автором на конференциях молодых ученых (Апатиты, 1993; Петрозаводск, 1995); юбилейной научной конференции "50 лет Карельскому НЦ РАН" (Петрозаводск, 1996); международной конференции "Беломорский подвижный пояс" (Петрозаводск, 1997).

По теме диссертации опубликовано десять печатных работ.

Автор считает приятным долгом выразить глубокую благодарность своему научному руководителю доктору геолого-минералогических наук, профессору Е.Н.Граменицкому за постоянное внимание и поддержку на всех этапах выполнения работы.

Особое чувство благодарности и признательности автор испытывает к безвременно ушедшему из жизни доктору геолого-минералогических наук Л.Л. Гродницкому за помощь в выборе объектов исследований, ценные советы и поддержку в работе.

В разное время и по разным вопросам были получены консультации и ценные советы докторов геол.-мин. наук С.И.Рыбакова, О.И.Володичева, Ю.И.Сыстры, кандидатов геол.-мин. наук В.А.Коншина, Л.В.Кулешевич, Н.Е.Король, В.В.Травина, А.И.Слабунова, Ю.И.Лазарева, а также А.М.Ручьева, В.И.Коросова и А.И.Крохина. Огромная помощь в работе и сборе фактического материала была оказана Д.В.Рычанчиком. Всем указанным коллегам автор очень благодарен.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложена на 154 страницах, содержит 26 таблиц и 65 рисунков. Список литературы состоит из 113 наименований.

## Глава I. Изученность метаморфизма Беломорья и методика исследований.

Представления о позиции БПП в общей структуре Балтийского щита стали складываться начиная с 30-х годов нашего столетия после работ В.М.Тимофеева, А.А.Полканова, Н.С.Шатского, К.О.Кратца, Л.Я.Харитоновой и других исследователей. Идея многоэтапности (полицикличности) геологического развития БПП была выдвинута в первых обобщающих работах по Карело-Кольскому региону (Григорьев, 1935; Судовиков, 1939), в дальнейшем обоснована и уточнена. В результате комплексных исследований выделены: ранний этап (этапы) метаморфизма гранулитовой фации и два последующих высокотемпературных этапа деформаций и метаморфизма, приведших к радикальным преобразованиям, резко изменившим облик и состав первичных пород (Володичев, 1971; Стенарь, 1972; Этапы..., 1973; Володичев, 1975, 1977; Сыстра, 1978; Гродницкий и др., 1985; Метаморфизм..., 1986; Балаганский, 1986; Володичев, 1990; Сыстра, 1991; Другова, Савельева, 1993; Король, 1997 и др.).

Завершающий этап геологической истории БПП согласованно фиксировался развитием пегматитов двух сближенных во времени (но не разновозрастных) формаций - мусковитовой и мусковит-редкометалльной. Однако если процесс, контролирующий формирование мусковитовых пегматитов, - раннесвекофеннский диафторез эпидот-амфиболитовой фаций высоких давлений был детально изучен (Гродницкий и др., 1977, Гродницкий, 1982), то генетические связи мусковит-редкометалльных пегматитов оставались неопределенными. Причина этого - отсутствие детальных аргументированных данных о метаморфических (или магматических) процессах, более молодых, чем мусковитовые пегматиты и синхронных мусковит-редкометалльным пегматитам. Между тем в СЗ (Енисейской) части беломорид существовали предпосылки к выделению таких процессов: было установлено (Л.Ф.Калафати с сотрудниками - фондовые работы; Жданов, 1959; Беломорский комплекс, 1962) наличие здесь в глиноземистых гнейсах Силл, Ст, Корд, отмечено замещение мусковита силлиманитом и андалузитом (Геологические факторы..., 1972); последний обнаружен в мусковитсодержащих гнейсах р-на Неблогоры (Коншин, 1978).

В серии работ посвященных метаморфизму лопийских ( $AR_2$ ) и карельских ( $PR_1$ ) комплексов зоны сочленения БПП с Карельским АК (Московченко, Турченко, 1975; Володичев, 1977; Бушмин, 1978; Геология Карелии, 1983; Фации метаморфизма..., 1990; Володичев, 1990



и др.) позднесвекофеннский этап не выделялся. В раннем протерозое здесь установлен один этап метаморфизма кианит-силлиманитового типа с тенденцией увеличения РТ-условий с ЮЗ на СВ. С этим периодом, по мнению исследователей, связано широкое развитие метасоматических процессов, а также проявления колчеданной и сурьмяно-мышьяковой минерализации (Кулешевич и др., 1990; Слюсарев и др., 1993).

В основу настоящих исследований положен геолого-петрологический подход, а ведущим методом исследований был парагенетический анализ минералов.

## **Глава II. Главные черты геологического строения Беломорского подвижного пояса и северо-восточной окраины Карельского кратона**

Беломорский подвижный пояс географически располагается вдоль побережья Белого моря, протягиваясь на расстояние 700 км. Около 80-90% объема пород БПП представлено архейскими сложноскладчатыми, глубоко- и в большинстве случаев - неоднократно метаморфизованными и повсеместно мигматизированными гнейсовыми толщами, частично или полностью, в зависимости от степени переработки, утратившими структурно-текстурные признаки и особенности состава исходных пород. Подчиненную роль играют интрузивные базит-ультрабазиты. Супракрустальные протерозойские образования на территории пояса отсутствуют.

Примыкающая к нему северо-восточная окраина Карельского АК представлена структурами Парандовско-Тикшеозерского зеленокаменного пояса (ЗКП). В литературе эта область рассматривается как зона сочленения беломорид и карелид, геологически совпадающая с зоной глубинного разлома. ЗКП зоны сочленения относятся к типу структур с полимодальным вулканизмом, характерная особенность которых - наличие в разрезе пород андезитового состава. В сравнении с другими ЗКП Балтийского щита, они обладают своей спецификой в части металлогенической специализации, структурного развития и температурных условий метаморфических преобразований, достигающих уровня эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций.

Корреляция возраста наиболее древних пород БПП и супракрустальных вулканогенно-осадочных образований пограничных областей кратона, единый региональный структурный план и сопряженность отдельных магматических и тектоно-метаморфических



событий делает возможным их сопоставление, а отчасти, позволяет дополнить некоторые характеристики тех или иных процессов в эволюции двух соседних геологических структур. Результат обобщения наших представлений о главных событиях геологической истории региона иллюстрируется в виде таблицы, в которой предпринята попытка "увязать" циклы эндогенной активности и седиментогенеза с геодинамической обстановкой и имеющимися геохронологическими данными.

Особенности геологического строения и периодичность эндогенных процессов Беломорья рассмотрена на примере наиболее полно и детально изученного Чупино-Лоухского района (Беломорский комплекс, 1962; Слюдоносные..., 1976; Гродницкий, 1982; Гродницкий и др., 1985 и др.). Последовательность геологических событий района включает в себя по-крайней мере три тектоно-метаморфических цикла: два архейских - доребольский, ребольский и протерозойский - раннесвекофеннский (см. табл.). Позднесвекофеннский этап в центральной части Беломорского пояса не проявлен. По литературным данным известны лишь единичные находки новообразований индексирующих, предположительно этого возраста.

В ходе геологических съемок разных масштабов гнейсовые толщи из Чупино-Лоухского района непрерывно прослежены в Енский район, который располагается в СЗ части БПП (рис. 1). Енский и Чупинский районы (сегменты) разделены поперечным разломом. В северной части Енского сегмента беломорские образования перекрываются толщами лапландских гранулитов, на юге - комплексом древних гранитоидов Карельской гранит-зеленокаменной области. На западе (на территории Финляндии) беломорицы срезаются карельскими (раннепротерозойскими) образованиями.

Район работ располагается в центральной части Енского сегмента, совпадающей с осью опрокинутого на ЮЗ синклинария. Формирование общего СЗ простираения главных структур района всеми исследователями непротиворечиво сопоставляется с наиболее древними, доребольскими этапами деформаций ( $F_n$ ,  $F_{n+1}$ ). Продукты метаморфизма этого возраста на изученных площадях достоверно не установлены.

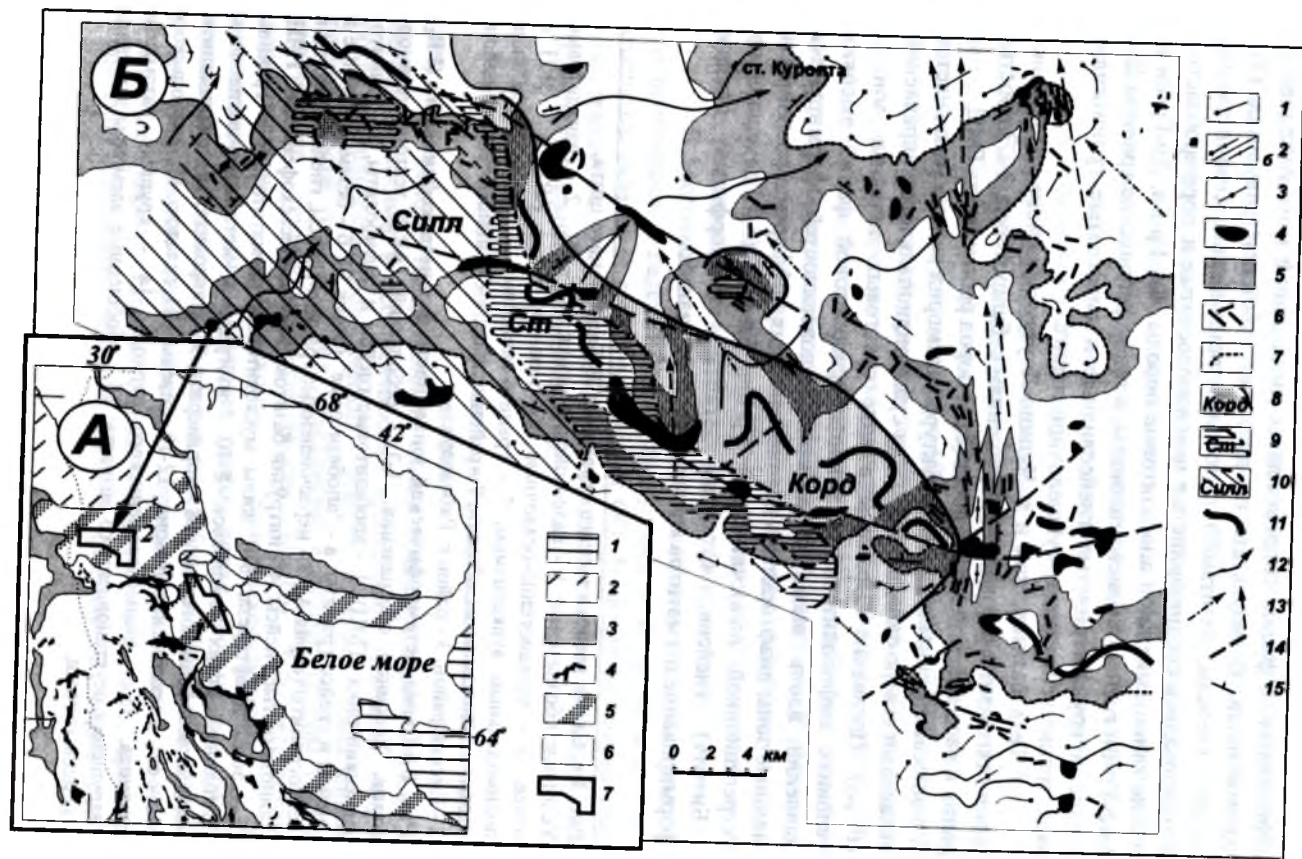
В ребольский период ( $AR_2$ ) сформировались складки субширотного (в ЮЗ части района) и СВ простираения ( $F_{n+2}$ ), деформирующие осевые поверхности складок раннего периода. Региональный аллохимический метаморфизм цикла характеризуется однородными на обширных площадях условиями высокобарической (кианитового типа)

Таблица

## Последовательность главных геологических событий в БПП и на окраине Карельского кратона

МСК, 1991		Геодинамическая обстановка	Магматизм, осадконакопление, гранитообразование, мезоструктуры		Метаморфизм	
Акро-тема	Эпоха-тема		Беломорский подвижный пояс	СВ окраина Кар. кратона	Беломорский подвижный пояс	СВ окраина Кар. кратона
ПРО-ТЕРОЗОЙ	рифей 1650±50	1700	осадконакопление, пегматитообразование		позднесвекофенский полифациальный метаморфизм	
	КАРЕЛИЙ	постколлизийная стадия	?	гранитообразование, сдвиговые структуры	низких и умеренных Р (до 715°C, 6,3 кбар)	умеренных давлений (до 630°C, 4,7-5,7 кбар)
		1800	пегматитообразование, покровообразование	сдвиговые структуры, коллизийный магматизм в пределах лапландского пояса	раннесвекофенский метаморфизм в условиях эпидот-амфиболитовой амфиболитовой фации; повышенных давлений, щелочной и Fe-Ca метасоматоз	
		1930±10 <sup>5</sup>	коллизия		высоких давлений (550-665°C, Р-5,1-8,4 кбар)	
	2500±50	2400	гранитообразование, основной плутоизм			
АРХЕЙ	ЛОПИИ	постколлизийная стадия	2720±8,9 <sup>4</sup> гранитизация (мигматиз., анатексис)		ребольский метаморфизм высоких давлений: амфиболитовой фации (700°C, Р-12-14 кбар) <sup>6</sup>	
		2720±20 <sup>3</sup> коллизия 2800±20 <sup>5</sup>	покровообразование		доребольский метаморфизм гранул. фации умеренных давлений (750°C Р-6-7 кбар) <sup>7</sup> (2850±20 <sup>5</sup> )	
		субдукция океанической коры под архейский кратон	гранитизация, эклогитизация, осадконакопление, терригенных толщ (граувакии), толщ. основной, у/о (офиолито-подобный) магматизм <sup>1</sup>	толеитовый, андезит-дацитовый магматизм (2820±31) <sup>1</sup> , осадконакопление; андезитовый, основной, у/о магматизм		эпидот-амфиболитовой фации (2741±14) <sup>4</sup>
	3150±50 Саямий	спрединг 2900				?
		?	?	?		

Примечания: таблица составлена с использованием данных: 1 - Slabunov, Stepanov, 1998; 2 - Bogdanova et al, 1995; 3 - Кожеевников, 1992; 4 - Бибикина и др., 1995; 5 - Бибикина, 1997; 6 - Валодичев, 1990; 7 - Ручьев, 1996.





амфиболитовой фации, сопровождаемая интенсивной мигматизацией и гранитизацией. В результате по древнему субстрату (гранулитам (?), "сухим" гнейсам, базитам(?) и тоналит-трондьемитам (гранитам I)) формировались среднезернистые неяснополосчатые и порфиروبластические глиноземистые и апобазитовые породы: Би, Гр-Би, Ди-Гр-Би и Амф-Гр-Би гнейсы и бластомилониты, а также ребольские граниты II - средние и крупнозернистые гнейсовидные и полосчатые гранитоиды ряда: гранит-лейкогранит-субщелочной гранит.

Тела базитов, как и в Чупино-Лоухском районе, пространственно тяготеют к разрывным нарушениям субширотного, З-СЗ простирания и рассекают гнейсовидность ( $F_{n+2}$ ) пород ребольского ТМЦ. В раннесвекофенское время структура беломорид района усложняется складками северо-западного ( $F'_{n+3}$ ) и субмеридионального направлений ( $F''_{n+3}$ ). Последние выражены в виде сдвиговых линейных зон. В условиях амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций высоких давлений вдоль вновь образованных поверхностей формируются мощные зоны диафоритов - крупнозернистых дифференцированных (с сегрегационной полосчатостью) Гр-Би, Ди-Гр-Би и двуслюдяных (+Би+Му) гнейсов. С этим этапом метаморфизма связано формирование пегматитов мусковитовой формации.

#### Рис. 1 а. Схема геологического строения СВ Балтийского щита.

Условные обозначения: 1 - палеозойский чехол; 2-3 -  $PR_1$ ; 2 - гранулитовые пояса, 3 - вулканогенно-осадочные образования; 4-5 -  $AR_2$ ; 4 - ЗКП с полимодальным вулканизмом, 5 - гранито-гнейсовые пояса; 6 - архейские гранит-зеленокаменные области; 7 - районы работ: 1 - Чупино-Лоухский район, 2 - Ениский район, 3 - район г. Рябоваара.

Рис. 1 б Схема метаморфической зональности позднесвекофенского ( $PR_1$ ) этапа. Условные обозначения: 1-3 - ребольский ( $AR_2$ ) тектоно-метаморфический цикл (ТМЦ): 1 - апобазитовые гнейсы и амфиболиты, 2 - гранито-гнейсы и гнейсо-граниты; а - "апобазитовые" (серия Б), б - безамфиболовые и лейкограниты (серия А), 3 - нерасчлененные гранито-гнейсы, гнейсо-граниты и глиноземистые гнейсы; 4 - интрузии базитов; 5-6 - раннесвекофенский ТМЦ: 5 - зоны диафореза; 6 - жилы мусковитовых пегматитов; 7 - границы литодинамических комплексов; 8-10 - изограды и метаморфические зоны позднесвекофенского этапа: 8 - кордиерита, 9 - ставролита, 10 - силлиманита; 11 - ось Ениского синклиниория; 12-13 - следы ОП складок: 12 - ребольского периода, 13 - раннесвекофенского периода; 14 - крупные разрывные нарушения неуставленного возраста; 15 - обобщенные элементы залегания гнейсовых толщ.

Таким образом, в пределах Енского района сохраняются главные черты общей последовательности и характера геологических событий, свойственные Карельской части БПП.

Последующие преобразования в Енском районе представлены широким развитием наложенных минеральных ассоциаций обусловивших своеобразие рассматриваемой площади и проявленных здесь метаморфических процессов, относящихся к позднесвекофеннскому (PR<sub>1</sub>) этапу.

Район Рябоваара находится в пределах выделенной К.О.Кратцем (1963) Северо-Карельской синклинойной зоны. Здесь развиты породы ириногорской свиты тикшеозерской серии лопия (AR<sub>2</sub>), имеющие осадочно-вулканогенную (Демидов, Кратц, 1974; Слюсарев и др., 1994) природу. В пределах изученной площади наиболее широко распространены средне- и мелкозернистые Би, Гр-Би и Ди-Гр-Би ( $\pm$ Му) гнейсы. На участке также картируется пачка Амф-Би и Гр-Амф-Би гнейсов с подчиненным количеством Би и Гр-Би гнейсов. В районе оз. Елового отмечены обширные по площади выходы амфиболитов, закартированных Л.В.Кулешевич и В.Д.Слюсаревым (1992), которые, по их мнению, развиваются по толеитовым базальтам и, частично, туфам.

В восточной части участка породы имеют главным образом, СВ простирание с падением на СЗ под углами от 0° до 50° и смяты в открытые складки с северо-западными ОП. В западном направлении эти структурные элементы все более стираются и переориентируются субмеридиональными деформациями.

### Глава III. Классификация и вещественный состав пород региона

В основу предложенной схемы классификации, наряду с петрологическими и геохимическими критериями, положена общая последовательность геологических событий региона. Выделенные разновидности горных пород объединены в четыре группы (I-IV), отвечающие тектоно-метаморфическим циклам (соответственно: доребольскому, ребольскому, раннесвекофеннскому и позднесвекофеннскому). Главные типы пород формируют ряды: глиноземистых гнейсов, гранитоидов и метабазитов. Ряды объединены в две фациальных серии, которые отражают различие в составе первичных супракrustальных пород: кислых и, возможно, средних терригенно-осадочных, дающих начало фациальной серии "А";

основных и ультраосновных, преимущественно, вулканогенных, служащих исходным субстратом для фациальной серии "Б".

Наиболее заметные изменения химического состава метаморфитов фиксируются при образовании ребольских гнейсов II, выразившиеся в незначительном уменьшении содержаний Si и Ti, увеличении Mg и суммы Fe, выносе Ca, привносе щелочей (главным образом - калия), обогащении алюминием. Изменение химического состава пород на этом этапе согласуется с количественным и качественным изменением состава минерального: ростом порфириобласт Гр и увеличением его количества, укрупнением лейст Би, развитием тонкозернистого агрегата дистена и т.д.

Формирование раннесвекофенских диафторитов происходит почти в изохимических условиях. Незначительные положительные приращения содержаний щелочноземельных металлов (Ca, Mg) и суммы Fe, так же как и снижение содержаний Al, связаны с исходными неоднородностями состава толщ. Парагенезисы диафторитов практически не отличаются от парагенезисов вмещающих зоны диафтореза ребольских гнейсов, в них лишь чаще присутствует мусковит. В ребольских гнейсах Ены, относительно аналогичных пород Чупино-Лоухского района, понижены содержания  $Fe^{2+}$  и соответственно - показатели f, заметно ниже содержания калия.

В процессе формирования позднесвекофенских кордиеритовых ( $\pm$ Ст,  $\pm$ Силл и др.) гнейсов происходит вынос щелочей при сопряженном компенсирующем увеличении содержания  $Fe^{2+}$  и Si.

Согласно полученным данным, подавляющая часть объема глиноземистых гнейсов БПП и окраины Карельского АК формировалась в условиях аллохимических преобразований, однако количество привнесенного или вынесенного вещества невелико. Фигуративные точки средних составов метаморфитов на петрохимических диаграммах не выходят за рамки поля граувакковых и полимиктовых песчаников и вполне могут отражать первичный состав субстрата. Однако, неопределенность в части разделения магматических и осадочных пород, а также значительный разброс составов частных химических определений, позволяет говорить о возможной гетерогенности исходных толщ, не исключающей вероятности участия в строении последних магматических пород или осадков более основного состава.

Изученные интрузии базитов по составу слагающих их пород вполне коррелируют с подобными образованиями комплекса



лерцолитов-габброноритов (возраста ~2.4 млрд.лет) детально и разносторонне изученных В.С.Степановым (1981) и могут служить репером при оценке возраста геологических событий.

Каждому циклу тектоно-метаморфической эволюции (I-IV) сопутствуют стадии гранитообразования, различающиеся по интенсивности, геологическому положению гранитоидов, их возрастной позиции и структурно-вещественным признакам (структурно-текстурным особенностям, минеральному составу, количественному соотношению минералов в породе и т.д.)

Позднесвекофеннские граниты (IV) в литературе не описывались. Это лейкократовые пегматоидные, массивные или слабополосчатые породы аплитовидной или гранобластовой структуры, образующие пластовые тела, жилы и линзы мощностью от сантиметров до нескольких метров. Граниты инъецируют метаморфизованные осадочно-вулканогенные толщи ириногорской свиты лопия и распространены в пределах, закартированной на Рябовааре, сдвиговой зоны. Относительно последней они являются син- и постскладчатыми. Магматические структуры или признаки эруптивных соотношений гранитов с вмещающими породами отсутствуют. Пространственно граниты тяготеют к областям максимальной структурно-вещественной переработки, располагаясь часто в флексурообразных изгибах и срывах. Минеральный состав: Пл - 10-45; Мик - 0-50; Кв - 25-35; Би - 0-3; Му - 0-5% (в площади шлифа).

Позднесвекофеннские граниты - умеренноглиноземистые породы ряда плагиогранит - лейкогранит - субщелочной лейкогранит и субщелочной гранит, коэффициент агапайности ( $k < 1$ ). По петрохимическим параметрам эти породы отличаются от раннесвекофеннских жильных гранитов III и других гранитов Беломорья, относятся к син-коллизийным образованиям и подвержены интенсивному калиевому метасоматозу (микроклинизации). Структурно-вещественные особенности позволяют использовать лейкократовые пегматоидные граниты как индикаторы и возрастные реперы позднесвекофеннских процессов в зоне сочленения беломорид и карелид.

#### **Глава IV Позднесвекофеннский этап метаморфизма**

##### **Состав породообразующих минералов**

В разделе представлены данные по составу минералов (Гр, Би, Ст, Корд, Амф и др.).

Установлено, что от древних к молодым метаморфитам и далее, - в позднесвекофеннских гнейсах - от кордиеритовой к

ставролитовой и силлиманитовой зонам, направленно меняется состав Би (растет  $f$  и падает  $TiO_2$ ) и Гр (растет  $MnO$  и  $FeO$ , падает  $MgO$  и незначительно -  $CaO$ ). В том же направлении снижается основность Пл: от № 32-35 в "сухих" гнейсах и № 27-34 в ребольских гнейсах до № 20-28 в диафторитах и № 17-26 в кордиеритовых гнейсах. Изменения химизма гранатов в процессе эволюции метаморфизма имеют те же тенденции, что и изменения в направлении от центра к краю в отдельно взятом кристалле и происходят раньше, чем появляются какие-либо петрографические признаки протекания метаморфического процесса. Все проанализированные зерна Гр имеют обратный тип зональности (повышение  $MnO$  и  $FeO$ , падение магнезиальности и во многих случаях -  $CaO$ ) или вовсе ее не имеют.

В распределении макрокомпонентов в кристаллах граната из поздневекофенских кордиеритовых гнейсов установлен сложный тип зональности. На рис. 2 приведены наиболее типичные химические профили полученные методом непрерывного сканирования. При их интерпретации, выделяются слабозональные реликтовые ядра, узкие прогрессивные оболочки (фиксирующие  $max T^{\circ}C$  поздневекофенского этапа метаморфизма) и широкие регрессивные каймы.

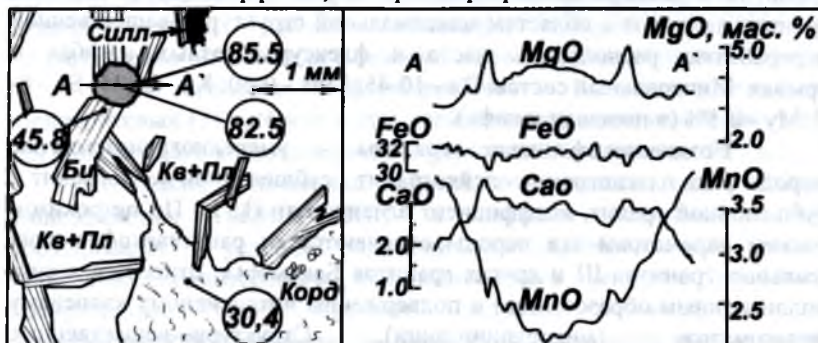


Рис. 2. Профили компонентного состава граната (шл. К-163) кордиеритовых гнейсов Ены (цифры в кружках - железистость минералов).

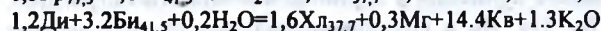
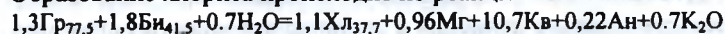
### Метаморфическая зональность

В Енском районе по парагенезисам метаморфитов ребольского ( $Гр+Би+Пл+Кв$ ) и ранневекофенского ( $Ди+Гр+Би+Пл+Кв$ ;  $Гр+Ди+Би+Му+Пл+Кв$ ) этапов развиваются минеральные ассоциации содержащие: Корд, Силл, Ст, Хл и другие. Анализ их пространственного расположения дал основание выделить на изученных площадях

метаморфические зоны: хлоритовую, кордиеритовую, ставролитовую и силлиманитовую (рис. 1).

*Хлоритовая зона* слагает периферийные части зональности. Внешняя граница зоны не определена. Изменения парагенезисов ребольских гнейсов и диафторитов здесь незначительны и представлены развитием Хл по Гр и замещением Би ассоциацией Хл+Мг. Минеральные ассоциации хлоритовой зоны (здесь и далее - +Пл+Кв):  $\text{Хл}_{38}+\text{Мг}\pm\text{Анд}$ ;  $\text{Хл}_{38}+\text{Мг}\pm\text{Му}$ ;  $\text{Аб}+\text{Му}+\text{Хл}\pm\text{Ка}$

Образование хлорита происходит по реакциям:



*Кордиеритовая зона.* Внешняя граница зоны определяется появлением Корд, который развивается по Би, используя спайности последнего, иногда - по Ди и Пл, но чаще кристаллизуется на границе зерен Би и Ди, отделяя их друг от друга. Широко распространены случаи, когда Корд почти полностью замещает Би и Ди, образуя вокруг их реликтовых зерен характерные полизональные келифитовые каймы: внутренние зоны мономинеральные Корд, внешние, на их границе с Кв и Пл, симплектитовые Кв-кордиеритовые. Характерные парагенезисы кордиеритовой зоны:  $\text{Корд}_{26,5}+\text{Гр}_{82}+\text{Би}_{39}$ ;  $\text{Гр}_{85}+\text{Би}_{43}+\text{Хл}_{39}$ ;

Первые Корд появляются в гнейсах в незначительном количестве и характеризуются низкой железистостью. Реакцию образования Корд можно записать следующим образом:  $0,5\text{Би}_{40,7}+0,7\text{Ди}=1,1\text{Корд}_{28,7}+0,2\text{Гр}_{87,5}+0,2\text{Кв}+0,03\text{Na}_2\text{O}+0,2\text{K}_2\text{O}+1,1\text{H}_2\text{O}$  В кордиеритовой зоне значительно возрастает железистость краевых участков зерен Гр. Максимальная величина этого показателя отмечается в зонах контакта Гр с Корд. Этот факт, с учетом наблюдаемых в шлифах замещений, свидетельствует об участии Гр в процессе кристаллизации Корд:



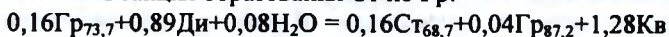
*Ставролитовая зона* характеризуется появлением Ст в парагенезисах с Корд:  $\text{Гр}_{87}+\text{Би}_{44}+\text{Ст}_{71-76}+\text{Корд}_{30}$ . В большинстве случаев Ст развивается по Ди (с отчетливо выраженными реакционными взаимоотношениями) и, иногда - Гр. Нередко наблюдаются обрастания крупных зерен Ди на порядок меньшими идиоморфными зернами Ст. Последний часто содержит включения Ди, а порой развивается внутри его зерен по плоскостям спайности. Корд

\* по литературным данным.

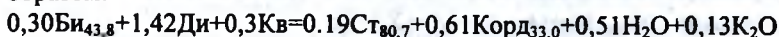


развит широко, отчасти в ассоциации с Хл. Железистость Корд в ставролитовой зоне увеличивается от 26,5 до 30,0%.

Реакция образования Ст по Гр:

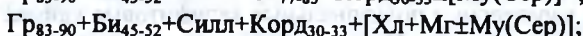
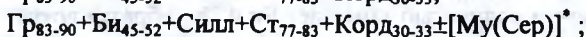
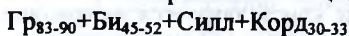


Более широко распространены случаи кристаллизации Ст совместно с Корд по Би и Ди. Эту реакцию можно записать следующим образом:



*Силлиманитовая зона* маркируется появлением Силл в виде фибролитовых радиально-лучистых и спутанно-волоконистых агрегатов, развивающихся по Би, Пл, Ди и крупночешуйчатому Му или мелких (до 0.05-0.1 мм) пластинчатых и ромбических зерен - по фибролиту.

Минеральные ассоциации силлиманитовой зоны содержат:



Ст, впрочем как и Корд, развит здесь повсеместно, а парагенезис Силл+Би+Корд, в отсутствие Ст, встречается не часто и пространственно не закономерно, вследствие чего выделение ставролит-силлиманитовой зоны сочтено нецелесообразным. В силлиманитовой зоне широко проявлены явления наложения более низкотемпературных ассоциаций на силлиманит- и кордиеритсодержащие парагенезисы. Силл повсеместно замещается тонкопластинчатым агрегатом Му (серицита), Корд подвержен замещению Хл и Му, совместно с ними часто фиксируется развитие мелких идиоморфных зерен Ст.

Особенностью минеральных преобразований является незавершенность метаморфических реакций. Реликтовые и новообразованные минералы сохраняются на всех температурных ступенях позднеэвекоефеннского метаморфизма.

В глиноземистых гнейсах Рябоваары не установлены индекс-минералы и минеральные парагенезисы метаморфизма низких и умеренных давлений характерные для Енского района. В направлении от центра к восточной границе сдвиговой зоны установлено повышение железистости Гр, Ст и железо-магнезиальных амфиболов

\* В квадратных скобках - минералы наложенных ассоциаций

(куммингтонит-грюнеритового ряда). Минеральные ассоциации глиноземистых гнейсов:  $\text{Gr}_{82-92} \pm \text{St}_{76-79} + \text{Bi}_{43-62} \pm \text{Xl}_{54-59} + \text{Mu}$ .

### Структурный контроль

На отдельных участках Енского района (Риколатва, Кайта-тундра) выявлены зоны кливажа В-СВ, З-СЗ и субмеридионального направлений ( $F_{n+4}$ ), сопровождающиеся милонитизацией и катаклазом. С этими зонами связано развитие ассоциаций позднесвекофеннского этапа. Дайковидные тела мусковит редкометалльных пегматитов ориентированы параллельно кливажу и образуют прерывистые пространственные серии. Зоны минерализованного кливажа и дайки мусковит-редкометалльных пегматитов пересекают все структурные элементы, контакты метаморфических и магматических пород, а также тела мусковитовых пегматитов. Однако большинство индекс-минералов позднесвекофеннских парагенезисов развиваются строго по плоскости полосчатости или гнейсовидности замещаемой породы, при этом переработке подвергаются, почти исключительно, меланократовые полосы ( $\text{Ди} + \text{Гр} + \text{Би}$ ). Таким образом, новых структурных элементов не образуется, а используются уже существующие - как наиболее вещественно и структурно выгодные.

Для района Рябоваары характерно развитие широкого разнообразия деформаций позднесвекофеннского ТМЦ, локализующихся в пределах крупной сдвиговой зоны: изоклинальной складчатости с субвертикальными ОП, флексурообразных структур и мелких пластических и хрупких сдвиговых зон, параллельных ОП складок, зон расщепления с субгоризонтальной линейностью и т.д. Видимая ширина деформационной зоны - до 1,2 км. Западная граница не установлена. На СВ участка развитие наложенных деформаций отчасти экранируется поясом базитов, к югу от которого, за пределами главной зоны, деформации имеют дискретный характер, развиваясь кулисообразно, в виде субвертикальных или крутопадающих на В линейных сдвиговых зон среднего масштаба (первые десятки м мощн.). Структуры контролируют размещение мусковит-редкометалльных пегматитов, гранитов (IV) и рудной минерализации, имеют Z-образную форму, и резко отличаются по стилю и положению в пространстве от лопийских СЗ открытых складок.

### Режим метаморфизма

Широкое "сквозное" развитие кордиерита, реакционные взаимоотношения новообразованных минералов с Ди - индекс-минералом повышенных и высоких давлений, устойчивость Ст с Силл

и т.д., позволяют отнести поздневекофеннский метаморфизм к типу умеренных и низких давлений (фациальная серия  $A_3$  по В.А.Глебовицкому, 1973). В высокотемпературных ассоциациях процесс достигает условий Силл-Би-Гр-ортоклазовой субфации амфиболитовой фации (715°C, 6,3 кбар) с последующей регрессивной последовательностью (субфации: Силл-Гр-Му-Би, Силл-Ст-Би-Му, Ст-Корд-Би-Му и Корд-Ст-Хл) до зеленосланцевой фации. Данные термобарометрии (рис.3) подтверждают этот вывод и вполне определенно указывают на отрицательные приращения температур и давлений. Фигуративные точки значений РТ-параметров, рассчитанные по Гр-Би термобарометру для составов центральных зон Гр попадают в РТ-поле диафоритов, что подтверждает существование "реликтовых" ядер в кристаллах Гр, а фигуративные точки РТ-условий краевых зон - во многих случаях соответствуют низкотемпературной андалузит-силлиманитовой области. Данные термобарометрии по ассоциации Гр-

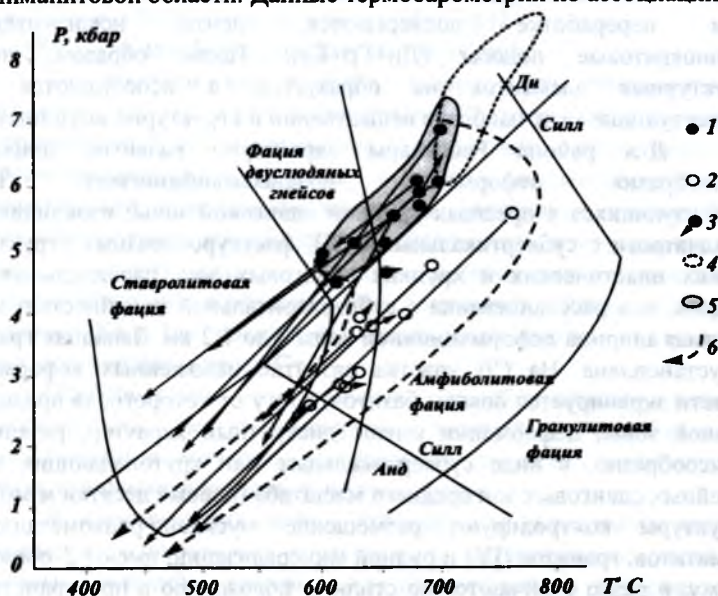


Рис. 3. РТ-параметры метаморфизма и их эволюция в раннем протерозое на фациальной схеме С.П.Кориковского (1979).

1-2 - Т и Р по термобарометрам: 1 - Гр-Би (Перчук, Рябчиков, 1976), 2 - Гр-Корд-Силл (Перчук, 1983); 3 - изменения РТ-условий от центра к краю зерен Гр; 4-5 - поля РТ-условий: 4 - ребольского, 5 - ранневекофеннского этапов; 6 - тренд РТ-условий поздневекофеннского этапа метаморфизма.



Корд-Силл наиболее достоверно отражают низкобарический режим давления при метаморфизме. В высокотемпературных зонах, где фиксируется массовое замещение Би и, реже, Пл кордиеритом и силлиманитом без компенсирующего новообразования калий-натрий-содержащих минералов, процесс имеет отчетливую метасоматическую тенденцию, усиливающуюся в низкотемпературных зонах, но уже за счет широко проявленного кислотного выщелачивания.

Последовательность и характер сменяющих друг друга раннепротерозойских метаморфических событий региона хорошо согласуется с выдвинутой во многих работах идеей Беломорской раннепротерозойской коллизионной зоны. Действительно, среднетемпературный высокобарический раннесвекофеннский метаморфизм отвечает стадии встречного движения БПП и Карельского АК, которая в позднесвекофеннское время сменяется стадией снижения тектонической нагрузки и возрастанием теплового потока, что находит свое отражение в протекании реакций дегидратации (кордиеритизация Би, силлиманитизация Му и Би), и возникновению узких прогрессивных оболочек в зернах граната. Последующее снижение температуры значительно затушевывает прогрессивные преобразования и приводит к регрессивным изменениям химизма железо-магнезиальных минералов, к образованию широких регрессивных каемок в зернах граната (наложение обратной зональности) и протеканию ретроградных реакций, интенсивность которых зависит от проницаемости пород.

#### Области развития и возраст позднесвекофеннского метаморфизма

В общей последовательности главных геологических событий региона (см. табл.1), процессы позднесвекофеннского этапа завершают тектоно-метаморфическую эволюцию восточной части Балтийского щита. Для оценки пространственно-временной позиции этих процессов особенно важно положение о тесной пространственной и петрологической связи с раннепротерозойскими этапами метаморфизма пегматитов двух формаций - мусковитовой (возраст пегматитов - 1,85-1,95 млрд. лет) и мусковит-редкометалльной (соответственно - 1,75-1,85 млрд. лет). Область развития процессов позднесвекофеннского этапа соответствует положению пояса мусковит-редкометалльных пегматитов, расположенного вдоль СВ окраины Карельского кратона, в гранито-гнейсах фундамента и в породах лопийских (AR<sub>2</sub>) и карельских (PR<sub>1</sub>) комплексов, западнее беломорского пояса мусковитовых пегматитов. В Енском районе эти

два пояса соединяются с многократно наблюдавшимися пересечениями тел мусковитовых пегматитов дайковидными мусковит-редкометалльными жилами. По литературным данным (Глебовицкий, 1973; Metamorphic..., 1987; Hölttä, 1988; Korsman, 1977, 1988; Painen, 1988) парагенезисы с Силл, Ст, Корд и Анд, а также пегматиты мусковит-редкометалльной формации из беломорских гнейсов непрерывно переходят в свекофенские комплексы Северной Финляндии и Швеции. По сумме фактов возраст метаморфизма надежно определяется как позднесвекофенский - 1,75-1,85 млрд. лет.

### Металлогенический аспект

Приуроченность позднесвекофенского метаморфизма к границе кратона с подвижным поясом, условия эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций умеренных давлений (р-н Рябоваары), контроль метаморфизма сдвиговыми структурами (shear-зонами) - факторы типичные для эндогенных месторождений Au на всех архейских золотоносных кратонах (Сьюперior, Йилгарн, Каапвааль и т.д.).

### Заключение

В результате проведенных исследований получены новые данные о геологической пространственной и временной позиции позднесвекофенского этапа метаморфизма в БПП и прилегающей части Карельского кратона. Главные особенности метаморфизма этого этапа:

- *полизональность* с увеличением степени метаморфических преобразований к юго-западу (Енский район), согласно выявленным и закартированным метаморфическим зонам: Хл, Корд, Ст и Силл.

- *высокоградиентный (низко- и умереннобарический) режим* метаморфизма, достигающий условий высокотемпературной амфиболитовой фации (715°C, 6,3 кбар) и протекающий на фоне декомпрессии, что обусловило траекторию метаморфизма в координатах Trt "по часовой стрелке".

- *контроль метаморфизма сдвиговыми зонами* (р-н Рябоваара) и более ранними структурами (Енский район).

- *сопряженность с процессами метасоматоза, гранито- и рудообразования*

- *региональный характер развития* преимущественно вдоль пограничных областей БПП и Карельского кратона

Публикации автора по теме диссертации

1. Использование рентгеновского анализатора БАРС-3 при расчленении мафит-ультрамафитов. // Геология и петрология. Опер.-информ. матер. ИГ КФ АН СССР. 1989. С. 44-47. Соавтор В.В.Куликова

2. К вопросу о зональности позднесвекофеннского метаморфизма в беломоридах (Ёнский район). // Вопросы геологии и магматизма докембрия Карелии. Операт.-информ. матер. ИГ КНЦ РАН. Петрозаводск. 1992. С.11-16.

3. Основные черты раннепротерозойского (позднесвекофеннского) метаморфизма глиноземистых гнейсов Ёнского района (Кольский п-ов). // Геология Балтийского щита: Тез. докл. 7 конф. молодых ученых. Апатиты. 1993. С.31-32.

4. Геохимические особенности гранатов из полиметаморфитов Ёнской ветви Беломорского подвижного пояса (на основе микронзондовых определений). // Вопросы геологии, петрологии и минералогии Карелии. Петрозаводск. КНЦ РАН. 1994. С. 106-127.

5. Калий, рубидий и литий в гранитоидах месторождения Плотина (беломорский пояс). // Вопросы геологии, петрологии и минералогии Карелии. Петрозаводск. КНЦ РАН. 1994. С. 128-138.

6. Позднесвекофеннский этап регионального метаморфизма, метасоматоза, пегматито- и рудообразования на территории Карелии и юго-западной части Кольского полуострова. // Зап. ВМО. 1995. № 3. С.26-32. Соавтор Гродницкий Л.Л.

7. Региональные факторы и критерии контроля эпигенетического золотого оруденения в раннем докембрии Карелии. // 50 лет Карельскому научному центру РАН: Тез.докл. юбилейной научной конференции. Петрозаводск, 1996. С. 121-122. Соавтор Гродницкий Л.Л.

8. Структурный контроль позднесвекофеннского наложенного метаморфизма и связанных с ним рудопроявлений в позднеархейской Тикшеозерской структуре. // Вопросы геологии, магматизма и рудогенеза Карелии. Опер.-информ.матер. ИГ КНЦ РАН. 1996. С. 24-27. Соавторы Коншин В.А., Рычанчик Д.В.

9. Полиметаморфизм, метасоматоз, пегматито- и рудогенез протерозойских этапов в Беломорском подвижном поясе и на прилегающей окраине Центрально-Карельского кратона. // Беломорский подвижный пояс: Тез. докл. Междунар. Конф. Петрозаводск, 1997. С. 28-29. Соавтор Гродницкий Л.Л.

10. Состав и зональность гранатов из полиметаморфитов Беломорья. // Вопросы геологии Карелии. Петрозаводск. КНЦ РАН. 1998. С.25-36. (в печати).

